

## **DIE HÖHENABHÄNGIGKEIT VON DECKSCHICHTEN UND BÖDEN IM NORDÖSTLICHEN GREAT BASIN UND IN DEN ANGRENZENDEN ROCKY MOUNTAINS, USA**

Arno KLEBER, Bayreuth\*

mit 4 Abb. im Anhang

### **INHALT**

1.	Einleitung .....	223
2.	Methoden .....	225
3.	Beispielprofile .....	225
4.	Höhenabhängigkeit der Deckschichten .....	228
5.	Höhenabhängigkeit der Böden .....	229
6.	Folgerungen .....	231
7.	Zusammenfassung .....	233
8.	Summary .....	233
9.	Literaturverzeichnis .....	234

### **1. Einleitung**

Im nördlichen Great Basin und in den angrenzenden Rocky Mountains können immer wieder drei Hauptepisoden der Bildung von lößhaltigem Hangschutt rekonstruiert werden (KLEBER 1990, 1992b, 1993). Sie sind durch ihre Relation zu Moränen im Gebirge und zu lakustrinen Sedimenten und Formen im Becken altersmäßig einzugrenzen. Die jüngste dieser Deckschichten, die sogenannte *Provo-Lage*, datiert 14.000 bis 13.000 B.P. (KLEBER 1990). In ihr ist ein wahrschein-

\* Priv.-Doz. Dr. Arno Kleber, Lehrstuhl für Geomorphologie der Universität Bayreuth,  
D-95440 Bayreuth, Universitätsstraße 30

lich spätleistozäner Boden mittlerer Reife entwickelt (*Provo-Boden*, KLEBER 1993). Die *obere* und die *untere Promontory-Lage* wurden zwischen dem letzten und dem vorletzten Hochglazial gebildet und werden durch eine Diskordanz wahrscheinlich des frühen Wisconsin (letzte Kaltzeit) getrennt (KLEBER 1993). Die darin entwickelten Paläoböden, der *obere* and der *untere Promontory-Boden*, sind jeweils jünger als das vorletzte Hochglazial beziehungsweise das Früh-Wisconsin und älter als das Wisconsin-Hochglazial (KLEBER 1993). Beide Böden sind Parabraunerden, von denen jeweils nur noch die Anreicherungshorizonte erhalten sind. Vielfach führte die der Tonverlagerung vorausgehende Entkalkung nicht zur völligen Auswaschung des Kalks. Statt dessen überprägen Kalkanreicherungshorizonte das jeweilige Liegende, welches entweder anstehender Regolith oder ein fossiler Bt-Horizont sein kann. Die Bildung all dieser Deckschichten und Böden erfolgte im Gebirge wie im Becken annähernd gleichzeitig, so daß davon ausgegangen werden kann, daß auch die Gebiete und Höhenbereiche dazwischen von diesen Prozessen betroffen waren. Tatsächlich wurden ähnliche Sequenzen von Deckschichten und Böden im gesamten nördlichen Great Basin und in den angrenzenden Gebirgen beobachtet (KLEBER 1992a, b, 1994): Sie bestehen üblicherweise aus drei übereinander folgenden Deckschichten, die jeweils eine eigenständige Bodenbildung tragen, wobei jedoch der jeweils jüngere Boden in vielen Fällen den liegenden Boden überprägt.

Die vorliegende Studie beruht auf der Untersuchung von 76 mehrgliedrigen Bodenprofilen (vgl. zur Lage derjenigen Profile, die in dieser Arbeit nicht im Detail beschrieben sind, KLEBER 1994), bestehend aus einer oder mehreren Deckschichten, sowie meist aus dem Anstehenden. Mehrere Profile entlang von Transekten vom Becken in das Gebirge werden in dieser Arbeit eingeführt. Ihre Lage zeigt, mit einer Ausnahme, Abbildung 1.

Obwohl eine exakte Gleichzeitigkeit der untersuchten Phänomene nicht bewiesen werden kann und auch nicht wahrscheinlich ist (AGER 1994), behandelt diese Arbeit die einzelnen Deckschichten und Böden jeweils als vergleichbare Zeitscheiben mit dem Ziel, den Einfluß der Höhe auf Sediment- und Bodeneigenschaften zu rekonstruieren. Demgemäß wird ein oberstes solifluidales Sediment (KLEBER 1990) mit einem mittel entwickelten Boden ohne Spuren von Tonverlagerung im Sediment selbst, außer in Solonezen (KLEBER 1992b), mit der Provo-Lage bzw. -Boden korreliert. Die nächste darunter folgende Deckschicht, in der ein Bt-Horizont entwickelt ist, welcher manchmal in seinem oberen Teil mit Karbonat aus dem Provo-Boden angereichert ist, wird mit der oberen Promontory-Lage bzw. -Boden gleichgesetzt. Analog wird eine darunter folgende Deckschicht mit Bt-Horizont und oft kräftiger Kalk-Überprägung von oben als Äquivalent der unteren Promontory-Lage bzw. -Boden angesehen.

## 2. Methoden

Die Korngröße wurde kalkfrei mit Sieb bzw. Pipette mit  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  als Dispergator bestimmt. Die Klassen sind Ton (2 mm), feiner, mittlerer und grober Schluff (<63, <200, <630  $\mu\text{m}$ ), feiner, mittlerer und grober Sand (<0,2, <0,63, <2 mm), sowie feiner und grober Kies (Grenze 20 mm). Die Werte in den letzten beiden Gruppen beziehen sich auf die Gesamtprobe, die anderen Werte jedoch auf den Feinboden. So kommen Werte über 100% zustande. Grobkies wurde darüber hinaus im Gelände geschätzt und später in Gewichtsangaben umgerechnet. Ferner werden Karbonatgehalt (Scheibler-Apparatur) und organischer Kohlenstoff ( $\text{C}_{\text{org}}$ , photometrisch) angegeben.

Die Daten wurden nach ihrer vermuteten stratigraphischen Einordnung (vgl. oben) gruppiert. Der Kalkgehalt wurde im Kalkanreicherungshorizont bestimmt, der üblicherweise unter der jeweiligen Deckschicht folgt. Für die einzelnen Schichten bzw. Böden wurden lineare Korrelationen zwischen verschiedenen Eigenschaften und der Höhe (zwischen 1.250 und 3.250 m über dem Meeresspiegel) berechnet. Ähnliche Berechnungen hat KLEBER (1994) an praktisch den gleichen Daten vorgenommen, vornehmlich um Boden- und Substrateigenschaften miteinander zu korrelieren.

Die Bodentypologie dieser Arbeit folgt den deutschen Konventionen. Dagegen richten sich die Horizontbezeichnungen – wegen der Konsistenz mit den englischsprachigen Abbildungen – nach der Soil Taxonomy (ARNOLD 1994), mit wenigen Ausnahmen: Auf die Verwendung des Suffixes "b" für begrabene Horizonte wurde verzichtet, da bei definitionsgemäßer Verwendung einige offensichtliche Paläoboden-Horizonte nicht erfaßt worden wären. Das Suffix "h" wird in Verbindung mit Bt benutzt, um Toncutane aus Ton-Humus-Komplexen, nicht Organosessquioxide, zu charakterisieren. Solche komplexierten Cutane sind typisch für Degradationsformen von Steppenböden (in diesen Fällen Kastanozemen) zu Parabraunerden. Dieser Übergangstyp wird in der deutschen Nomenklatur als Griserde bezeichnet, ein internationaler Begriff fehlt jedoch. Anstelle der im Deutschen üblichen römischen Ziffern zur Charakterisierung von wechselnden Ausgangssubstraten der Bodenbildung stehen in der amerikanischen Nomenklatur arabische Ziffern. Bei der jeweils ersten Erwähnung dieser Horizontsymbole im Text wird in Klammern die deutsche Bezeichnung beigelegt.

## 3. Beispielprofile

Die Beispielprofile liegen im nordöstlichen Great Basin und in den angrenzenden Gebirgen (vgl. Abb. 1). Die Horizontabfolgen der Profile und einige Analysendaten zeigt Abbildung 2.

*Profil 1* liegt am Oberhang des Mt. Bald Eagle, Wasatch Range, Utah. In der obersten Deckschicht ist ein A (Ah)-Horizont entwickelt. Dessen Farbe wird nach unten heller. Dieses Profil ist eines der wenigen, in dem ein echter E (Al)-Horizont entwickelt ist. In diesen Horizont wurden dunkle Toncutane eingewaschen, die aus dem A-Horizont verlagert wurden. Die Cutane im darunter folgenden 3Bt-Horizont haben eine Farbe von 10YR4/6, trocken (Munsell, Farben im Gelände bestimmt), bzw. 7.5YR4/4, feucht. Die entsprechenden Werte im 2EBth-Horizont liegen bei 10YR4/2 bzw. 10YR3/2. Sie sind also deutlich dunkler, obwohl der gesamte Horizont viel heller ist. Diese jüngste Bodenbildung muß somit als Griserde angesprochen werden.

Zwei durch eine Diskordanz getrennte Bt-Horizonte folgen darunter. Deren unterer zeigt Trockenrisse, die mit einem ortsfremden Material gefüllt sind, das in der umgebenden Bodenmatrix fehlt (vgl. KLEBER 1993 mit Schwermineralanalyse aus einem nahegelegenen Profil). Da diese Risse sich nicht in das darüberliegende Material fortsetzen lassen, kann dieses Hangende noch nicht existiert haben, als die Füllung erfolgte. Andererseits sind die Füllungen weit weniger pedogen überformt als der umgebende 4Bt-Horizont, der also wohl älter ist. Damit liegt es nahe, die beiden Bt-Horizonte jeweils unterschiedlichen Bodenbildungen, dem oberen und dem unteren Promontory-Boden also, zuzuordnen.

*Profil 2* besteht aus einem humosen, schwach kalkhaltigen A-Horizont, der diskordant Bt-Horizonte überlagert. Diese sind in sich wieder durch eine deutlich erkennbare Diskordanz getrennt, bestehen also aus zwei Deckschichten. Deren obere wird der oberen Promontory-Lage zugerechnet. Ihr Bt-Horizont ist im oberen Teil etwas kalkangereichert. Der liegende Bt-Horizont ist vor allem entlang von Wurzelbahnen und alten Trockenrissen stark aufgekalkt, gehört somit in eine ältere Bodenbildungsphase, in die des unteren Promontory-Bodens. Die jurassischen Gesteine des Anstehenden sind kalkhaltig (HINTZE 1980, eigene Beobachtung), ferner ist das Profil als einziges südexponiert, während alle anderen Profile ungefähr nach Westen exponiert sind. Diese Faktoren können die für die Höhenlage hohen Kalkgehalte erklären. Der Restkalkgehalt erklärt, warum die Tendenz zur Griserde-Bildung im Provo-Boden, wie ihn die Nachbarprofile zeigen, hier nicht zu beobachten ist.

In *Profil 3* ist dunkler Ton in den 2Bth-Horizont verlagert worden. Die Trennung der Promontory-Böden erfolgt wieder auf der Grundlage der Kalkanreicherungs-horizonte: Der Bildung beider Bt-Horizonte muß jeweils Entkalkung vorausgegangen und erneute Kalkanreicherung nachgefolgt sein.

In *Profil 4* treten Spuren von Staunässe in Form eines Btg (SdBt)-Horizonts im unteren Promontory-Boden auf. Zur Seite hin, wo die Hangneigung von 3° auf 7° ansteigt, klingt dieses Phänomen schnell aus, es ist also reliefabhängig.



Ab *Profil 5* fehlen die Merkmale einer Griserde im Provo-Boden. Dieses Profil zeigt Staunässe im unteren Promontory-Boden, obwohl der Hang mit  $10^\circ$  deutlich steiler ist als im höher gelegenen Profil 4. Hier war die Tendenz zur Vernässung also merklich stärker ausgeprägt.

In *Profil 6* ist der 3Btk-Horizont stärker kalkhaltig als in den meisten höher gelegenen Profilen. Die Grenze zwischen oberer und unterer Promontory-Lage liegt an die 2Bt-/3Btk-Horizontgrenze.

An der Wasatch Front (*Profile 7-10*), dem steilen Rand des Great Basin, sind tiefgründige Böden mit Tonanreicherung selten und auf Höhen über 2.000 m beschränkt. Dies geht wahrscheinlich auf eine Erosionsphase vor ca. 15.000 Jahren zurück, als ein Paläosee im Great Basin katastrophenartig seine Umrandung durchbrach (MALDE 1965). Alle gefundenen Beispiele zeigen gleichzeitig Bt- und Staunässe-Eigenschaften. Die fehlenden Kalkanreicherungsprofile weisen auf ausgeprägte Auswaschungsvorgänge hin, machen es aber schwierig, obere und untere Promontory-Lagen zu unterscheiden. Insgesamt deuten diese Befunde eine zeitweise relativ hohe Bodenfeuchte an.

Zwischen 1.800 und 2.500 m Höhe ist die Bodenentwicklung des Provo-Boden räumlich weit variabler als in anderen Gebieten (dies wurde durch Bohrungen bestätigt): Kastanozeme und Braunerden wechseln engräumig miteinander ab. Dies scheint durch die Wasserdurchlässigkeit des Untergrunds gesteuert zu sein: Dichtes Material wie Phyllit, Tonschiefer oder lößreiche, tonangereicherte Deckschichten begünstigten die Bildung von Braunerden, durchlässiges Substrat die Bildung von Kastanozemen.

Die Mehrzahl der Profile im *nordöstlichen Great Basin*, die KLEBER (1992b) beschreibt, enthalten entweder nur untere und obere Promontory-Lage unter lakustrinen Sedimenten fossilisiert oder die Provo-Lage in der Regel als Oberflächenbildung. Zusammengesetzte Profile, in denen also alle Deckschichten zugleich auftreten, sind in diesem Gebiet selten. Auch in ungeschützten Positionen, wo sie nicht durch spätere Prozesse fossilisiert wurden, sollten sich die Promontory-Sedimente und -Böden jedoch gebildet haben. Ihr seltenes Auftreten kann dann nur mit der bereits erwähnten Erosionsphase zusammenhängen. Überreste der Promontory-Böden kann man also dort erwarten, wo diese Erosionsphase geringere Auswirkungen hatte. Eine solche Stelle ist das Rush Valley, Utah. Dieses Tal war durch eine gigantische Nehrung vom übrigen Paläo-See abgetrennt und konnte somit dem schnell fallenden Seespiegel nur verzögert folgen (BURR & CURREY 1988). Tatsächlich sind in diesem Tal Böden mit Bt-Horizonten, ähnlich den bisher beschriebenen aus drei Deckschichten mit jeweils nachfolgenden Bodenbildungen bestehend, weit verbreitet, wie *Profil 11* zeigt. Dieses Profil schließt also die Lücke zwischen den Profilen im Gebirge und denen im Becken.

*Profil 12* liegt in Ost-Nevada. Es handelt sich um ein komplexes Profil, dessen tiefere Abschnitte (vgl. KLEBER 1992b) hier nicht mitgeteilt werden. Da es im distalen Bereich eines Schwemmfächers liegt, war das Profil nicht nur von der Ablagerung von Löß und Solifluktions-Sedimenten betroffen, sondern auch zumindest episodisch von fluvialer Akkumulation. Diese Sedimente wechseln sich mit den Deckschichten ab, so daß die einzelnen Deckschichten weiter voneinander getrennt zu liegen kommen. Dies führte dazu, daß die Bodenbildungen mit ihren Kalkanreicherungshorizonten durch die schützenden Schotterablagerungen hindurch die jeweils liegenden Paläoböden nicht erreichen konnten. Dieses Profil belegt damit besonders deutlich den unabhängigen Charakter der einzelnen Bodenbildungsphasen.

#### 4. Höhenabhängigkeit der Deckschichten

Prinzipiell treten Deckschichten in allen untersuchten Höhenlagen auf. Nach Feldbefund ist ihre Ausbildung ziemlich gleichmäßig. In allen Gebieten findet sich die beschriebene Dreigliederung, modifiziert nur in den Hochlagen der La Sal Mountains, wo die Provo-Lage noch von einem vermutlich holozänen Schwemmsediment überlagert wird (KLEBER 1992a). Abbildung 3 stellt die Höhenabhängigkeit von Sediment- und Bodeneigenschaften unter Einbeziehung aller Arbeitsgebiete (KLEBER 1994) dar. Hier zeigt sich, daß die Korngrößenklassen im Liegenden der Deckschichten (im folgenden als Anstehendes bezeichnet, meist handelt es sich um stark vorverwittertes Material) erwartungsgemäß zufällig verteilt sind, es treten keine höhenabhängigen Tendenzen auf. Demgegenüber nehmen die *feinen Fraktionen* Ton bis Mittelschluff in beiden Promontory-Lagen mit der Höhe zu. Dies kann als Effekt der mit der Höhe zunehmenden Frostverwitterung und einer daraus resultierenden Tendenz zu feineren Korngrößen erklärt werden. Da insbesondere die untere Promontory-Lage meist so tief begraben ist, daß ein von der heutigen Oberfläche ausgehender, rezenter Einfluß auszuschließen ist, kann man einen fossilen Effekt annehmen. Dieser geht bereits auf die eigentliche Bodenbildungsphase, die diese Schicht betroffen hat, zurück oder – noch wahrscheinlicher – es handelt sich sogar um eine ursprüngliche Sedimenteigenschaft. Ähnliches gilt sicher auch für die obere Promontory-Lage, insbesondere da die Provo-Lage, die den atmosphärischen Einflüssen heute ja am stärksten ausgesetzt ist, keine vergleichbaren Abhängigkeiten erkennen läßt.

Andere Korngrößenfraktionen zeigen keine erkennbaren Einflüsse der Höhenlage. Vererbung von bereits vorhandenem Substrat, insbesondere älteren Deckschichten, im Zuge der Aufarbeitung des Liegenden durch die Solifluktion spielt eine größere Rolle und überspielt mögliche Einflüsse der Höhenlage (KLEBER 1994). Andere Untersuchungen belegen ebenfalls, daß liegendes Material, insbesondere sein Alter, die jeweiligen Oberflächen-Substrate stark prägt (z.B. REHEIS 1990: Bodenchemie von A-Horizonten, COLMAN & PIERCE 1984, PIERCE et al. 1976, PIERCE 1979: Verwitterungsringen).

Die Deckschichten sind reicher an *Grobschluff* – typischerweise die Korngröße des Lösses – als das Anstehende (Median 13%, 12%, 16% in den einzelnen Deckschichten von oben nach unten; nur 9% im Anstehenden, KLEBER 1994). Eine große Zahl von Schwermineralanalysen belegt ebenfalls allochthone Komponenten in den Deckschichten (KLEBER 1992b). Dieser Löß wurde in die Deckschichten während des Solifluktionsprozesses eingearbeitet. Da die Phasen der Deckschichtenentstehung annähernd mit stark fallenden Spiegeln der Seen im Great Basin einhergehen, liegt es nahe, in den trocken fallenden Seeflächen die bevorzugten Auswehungsgebiete des Lösses zu vermuten. Dann müßte aber der Grobschluffgehalt in den Deckschichten mit der Entfernung zu diesen Liefergebieten, also insbesondere mit der Höhe, abnehmen. Somit ist das Fehlen einer solchen Abhängigkeit überraschend. Man muß lokale Liefergebiete des Lösses in den Rocky Mountains selbst annehmen, die die abnehmenden Mengen aus dem Becken kompensierten. Dies mag ein Licht auf die Umweltverhältnisse zur Ablagerungszeit werfen: Da die Hänge selbst im wesentlichen Ablagerungsgebiete des Lösses wurden, bleiben nur Bereiche wie die Talböden übrig, wo zumindest jahreszeitlich genügend vegetationsfreie Oberflächen vorhanden gewesen sein könnten, um derartige Ausblasung zu erlauben. Diese Vermutung stimmt gut mit den Ergebnissen der Schwermineralanalysen (vgl. oben) überein, die ebenfalls eher viele lokale als einige wenige überregionale Lößliefergebiete vermuten lassen.

## 5. Höhenabhängigkeit der Böden

Abbildung 4 stellt die Bodenhorizonte getrennt nach den einzelnen Deckschichten und nach Untersuchungsgebieten dar. Die einzelnen Gebiete zeigen neben individuellen Zügen auch zahlreiche Gemeinsamkeiten.

In bestimmten Höhenbereichen ist in der Provo-Lage immer ein mächtiger A-Horizont eines Steppenbodens (Kastanozem) entwickelt, der zu tieferen und zu höheren Lagen hin in Braunerden mit Bw (Bv)-Horizonten übergeht. Ferner gibt es in den tieferen Höhenlagen aller Gebiete schwach ausgebildete Bk (Cc)-Horizonte in bzw. direkt unterhalb der Provo-Lage. In vielen Fällen wird dadurch eine ältere Bodenbildung überformt und es entstehen Btk (Bct)-Horizonte. Beide Höhenbereiche überlappen sich, so daß stellenweise beide Horizonte gleichzeitig in einem Profil auftreten. Die Obergrenze der Kastanozeme dürfte mit der Grenze Steppe / Wald während der Bodenbildungszeit gleichzusetzen sein (KLEBER 1994). Ihre Untergrenze dürfte eine Trockengrenze sein, unterhalb derer nicht mehr genug Feuchtigkeit für die Bildung von Humus zur Verfügung stand. Ferner sind niedrige Wintertemperaturen erforderlich, um die Mineralisation des Humus zu verhindern.

Beide Promontory-Böden sind durchgehend durch Tonanreicherung geprägt. Oft treten auch Kalkanreicherungs-horizonte auf. In allen Untersuchungsgebieten, aus

denen eine genügende Datendichte vorliegt, erreicht der Kalkanreicherungshorizont des oberen Promontory-Bodens die höchsten Höhen. In einigen Profilen ist er somit der einzige solche Horizont. Dies hängt sicherlich ebenfalls mit der Bodenfeuchte zusammen. In den tieferen Lagen reichte sie nie aus, den Kalk gänzlich auszuwaschen. Mit der Höhe und damit zunehmender Bodenfeuchte wurde immer mehr ausgewaschen, bis sich keine Kalkanreicherungshorizonte mehr entwickeln konnten. Dieser Punkt reichte zur Zeit des oberen Promontory-Bodens am höchsten, diese Bodenbildungsphase war also wohl etwas trockener als die vorangegangene. Diese Aussage läßt sich kaum auf die jüngste Bodenbildungsphase ausweiten, weil hier aufgrund der im Mittel geringeren Mächtigkeit des Sediments von Anfang an weniger Kalk zur Verfügung stand. Dies schlägt sich auch in den viel niedrigeren Kalkgehalten der Anreicherungshorizonte des Provo-Bodens nieder.

Alle bodengeographischen Höhengrenzen schwanken gebietsweise. In den *La Sal Mountains* liegt die Obergrenze der Kastanozeme des Provo-Bodens niedrig, die Untergrenze dagegen überdurchschnittlich hoch. Als Folge erreicht diese Höhenstufe in diesem Gebirge die geringste vertikale Ausdehnung. Die Kalkanreicherungshorizonte aller Böden und Paläoböden reichen hier dagegen sehr hoch. Dies alles zeigt steile Gradienten der Bodenfeuchte an, wie sie auch heute für dieses Gebirge charakteristisch sind (RUFFNER 1978). Eine Besonderheit dieses Gebiets ist auch das bereits erwähnte holozäne Schwemmsediment.

In den *Wasatch Mountains* (vgl. oben) findet sich schwache Tonverlagerung aus dem Provo-Boden in den darunterliegenden oberen Promontory-Boden. Kastanozem und Griserde bildeten sich kaum gleichzeitig, sondern die Tonverlagerung ist eine Degradationserscheinung bei erhöhter Bodenfeuchte. Somit zeigen diese Böden einen klimatischen Trend zu höherer Feuchtigkeit im Laufe der Pedogenese an. Einen weiteren Hinweis auf vergleichsweise feuchte Bedingungen geben Staunässephänomene im unteren Promontory-Boden (nicht in Abbildung 4 dargestellt, vgl. aber Beispielprofile). Auch heute ist dieses Gebirge durch etwas höhere Niederschlagswerte gekennzeichnet als seine Umgebung (vgl. Stationsdaten in RUFFNER 1978).

Der Anstieg der *Wasatch Front* aus dem Great Basin ist durch Hinweise auf hohe Bodenfeuchte in den älteren Phasen (vgl. oben) und durch ein buntes Mosaik von Braunerden und Kastanozemen im Provo-Boden oberhalb 2.100 m gekennzeichnet. Auch letzteres dürfte auf den Bodenwasserhaushalt, den wichtigsten limitierenden Faktor für die Ausbildung von Kastanozemen, zurückzuführen sein. Dies wird gestützt durch den Umstand, daß das Bodenmosaik im Detail mit der Wasserdurchlässigkeit des Substrats zusammenhängt (vgl. oben). Insgesamt muß aber dann die Bodenfeuchte in diesem gesamten Höhenbereich relativ hoch gewesen sein. Nur dann konnte dieser zusätzliche Einflußfaktor eine Steuerungsfunktion übernehmen, also lokal das Aufkommen von Wald zulassen, was die Bildung von

Steppenböden wiederum unterband. Auch dies ist aus den heutigen Klimaverhältnissen verständlich. Die *Wasatch Front* ist der erste bedeutende Regenfänger für Westwinde nach dem Great Basin. Teile der Front erhalten demgemäß auch heute das Niederschlagsmaximum Utahs (RUFFNER 1978).

Ähnliche Verhältnisse lassen sich auch im zentralen und nordwestlichen *Great Basin* mit seinen isolierten Gebirgsstöcken finden (KLEBER 1992b). Alle bodengeographischen Höhengrenzen – soweit die Untersuchungsgebiete hoch genug aufragen – steigen nach Westen an. Die Höhengrenzen in Abbildung 4 wurden im zentralen Great Basin bestimmt, jedoch gibt es auch ausgeprägte regionale Unterschiede, die aufgrund der nach Westen abnehmenden Dichte der Untersuchungsgebiete ungenügend erfaßt wurden.

Wie bereits erwähnt, variieren die Höhengrenzen der Kastanozeme im Provo-Boden regional. Dies läßt erwarten, daß die Gehalte an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ), abgetragen gegen die Höhenlage, entsprechend stark schwanken. Wie Abbildung 3 jedoch zeigt, gibt es bis ca. 2.500 m eine Tendenz zur Zunahme des  $C_{org}$  im Provo-Boden über alle Gebiete hinweg, während oberhalb davon eine Abnahme erfolgt. Eine ähnliche Tendenz zeigen auch die Promontory-Böden, wobei aber die Maxima jeweils in deutlich geringerer Höhe liegen. Dabei muß aber bedacht werden, daß organischer Kohlenstoff in Tonanreicherungshorizonten völlig anderen Entstehungsbedingungen unterliegt als in Oberböden.

Die Karbonatgehalte aller Böden sinken mit der Höhe. Jedoch weist Abbildung 3 eine gleichartige Abnahme auch im Anstehenden nach, so daß aus diesen Daten nicht deutlich wird, ob hiermit ein pedogenetischer Effekt oder primär andere Kalkgehalte oder eine Kombination aus beidem erfaßt wird. KLEBER (1994) konnte allerdings mit statistischen Mitteln wahrscheinlich machen, daß nur die Karbonatgehalte der Bk-Horizonte des Provo-Boden, nicht jedoch die der Promontory-Böden hinreichend aus dem Anstehenden erklärt werden können.

## 6. Folgerungen

Das Untersuchungsgebiet war mehrmals von drastischen Klimaänderungen betroffen, die zur Bildung von lößbeeinflußten Deckschichten oder von Böden unterschiedlichen Entwicklungsgrades führten. Diese Phänomene lassen sich vom Becken bis in die Gebirge knapp unterhalb der heutigen oberen Waldgrenze verfolgen. Einige dieser Änderungen betrafen alle Höhenbereiche in annähernd gleicher Weise: Das muß dahingehend interpretiert werden, daß die Klimaänderungen die Prozesse so stark dominierten, daß sich der Faktor Höhe nicht prägend auswirken konnte. So wird beispielsweise die Bildung der drei Deckschichten aufgefaßt als Folge des klimatisch gesteuerten Vegetationsumbaus, der die Hänge für einige Zeit ungeschützt der Solifluktion aussetzte, und dem alle Höhenstufen,



wenn auch wohl kaum genau gleichzeitig, ausgesetzt waren (KLEBER 1994). Auch die Lößeinwehung war nicht merklich höhenabhängig. Die Bildung von Parabraunerden in zwei jeweils auf die beiden ältesten Deckschichten folgenden Phasen der Bodenbildung ist Ausdruck sehr stabiler geomorphodynamischer Verhältnisse unter einem feuchteren Klima als heute (heute ist die Tonverlagerung durch die Trockenheit limitiert).

Andererseits gibt es auch höhenabhängige Phänomene. So ist zum Beispiel der Typ des Provo-Bodens an bestimmte Höhengürtel gebunden, wenn auch hier noch zusätzliche lokale Einflüsse berücksichtigt werden müssen. Ähnliches gilt für die Kalkanreicherung in allen Böden, deren Höhenobergrenze zum Teil durch die jeweilige Bodenfeuchte beeinflusst ist. Ein weiterer Zusammenhang läßt sich bei den feinen Korngrößen der älteren Deckschichten sehen, deren Anteil mit der Höhe, vermutlich gesteuert durch verstärkte Frostverwitterung, zunimmt.

Auch die in dieser Arbeit als gebietstypisch und individuell beschriebenen Phänomene sind möglicherweise auf andere Gebiete der Rocky Mountains übertragbar. So könnte es sich bei den Böden mit schwacher Tonverlagerung, die aus den höheren Lagen der Rocky Mountains auf Moränen der letzten Kaltzeit beschrieben sind (z.B. BERRY 1987, REIDER 1983), um Griserden handeln, wie sie in dieser Arbeit aus den Wasatch Mountains beschrieben wurden, die von der verwendeten Nomenklatur jedoch nicht erfaßt werden können; in diesem Fall müßten sie dunklere Cutane zeigen als typische Parabraunerden. Bei der Übertragung des Phänomens Lessivierung im Provo-Boden ist ferner zu beachten, daß der Prozeß nur sehr schwach ausgebildet ist. In Gebieten, in denen der Ausgangsboden kein Kastanozem oder eine ähnlich Bildung war, können die Merkmale deshalb leicht übersehen werden. Auch das vermutlich holozäne Schwemmsediment, das in den La Sal Mountains beobachtet wurde, könnte Entsprechungen in anderen Gebieten haben. Beobachtungen eines sehr feinkörnigen holozänen Sediments geringer Mächtigkeit gibt es mehrfach. Aus verschiedenen Gebirgsstöcken Wyomings liegen auch radiometrisch und archäologisch gewonnene Alterseinschätzungen auf ca. 5.000 B.P. vor (MAHANEY 1984, REIDER 1983, REIDER et al. 1988).

## Dank

Ich danke allen amerikanischen Kollegen, die mich in ihre Arbeitsgebiete führten und wichtige Aspekte meiner Arbeit mit mir diskutierten: D.R. CURREY und M. ROSS, Salt Lake City, Utah, B. MEARS jun., L.C. MUNN und R. REIDER, Laramie, Wyoming, R.W. ARNOLD, Washington, D.C., und C.G.J. OVIATT, Kansas City. Insbesondere danke ich R. SCHILL, Bayreuth, der für die Analytik verantwortlich zeichnet. Die Arbeiten wurden gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, wofür hier noch einmal herzlich gedankt sei.



## 7. Zusammenfassung

Im Untersuchungsgebiet sind drei Zyklen lößhaltiger solifluidaler Deckschichten alternierend mit Böden weit verbreitet. Einige Eigenschaften dieser Sedimente und ihrer Böden sind von der Höhe nicht erkennbar beeinflusst. Dies ist zum einen die stratigraphische Abfolge der Glieder selbst. Ferner trifft dies auf die Bodenentwicklung (Parabraunerden) in den beiden untersten Deckschichten zu. Auch der Lößgehalt der Schichten scheint nicht mit der Höhe abzunehmen, was auf zahlreiche lokale anstatt wenige überregionale Löß-Liefergebiete hinweist. Andere Eigenschaften sind dagegen von der Höhe beeinflusst. Die feinen Korngrößen in den beiden älteren Deckschichten nehmen mit der Höhe, also wahrscheinlich mit dem Gradienten der Frostverwitterung, deutlich zu. Auch die Bodenentwicklung im obersten Boden ist höhenstufenabhängig. Die Kalkanreicherungshorizonte der einzelnen Böden haben jeweils Höhenobergrenzen und nehmen bis dorthin an Intensität ab, was vermutlich an der Zunahme der Bodenfeuchte mit der Höhe zur jeweiligen Bodenbildungszeit liegt. Regionale Unterschiede verlaufen weitgehend parallel zur heutigen Niederschlagsverteilung.

## 8. Summary

### **Arno Kleber: The Influence of Elevation on Cover-beds and Soils. Northeastern Great Basin and Adjacent Rocky Mountains, USA**

In the area studied, several cover-beds and soils occur, usually arranged as a threefold sequence of alternating solifluction deposits containing loess and of soils. Some of the properties of them seemingly are not controlled by elevation: this is primarily the stratigraphic sequence of the events itself. Also, the argillic soils developed within the two older cover-beds are similar throughout all studied elevation ranges. Furthermore, the loess content of the cover-beds does not seem to decrease with elevation, a fact pointing to many regional rather than a few supraregional loess sources. Other properties depend on elevation. Within the older cover-beds, fine grain sizes increase with elevation, probably with the gradient of frost weathering. Also, the horizons developed in the uppermost cover-bed and the occurrence and intensity of carbonate enrichment within the soils are restricted to certain elevation ranges. Presumably this is due to soil moisture increase at the time of the soil formation. Regional differences occur more or less according to the modern precipitation pattern.

## 9. Literaturverzeichnis

- AGER D.V. (1994), The nature of the stratigraphical record. New York etc., John Wiley & Sons. 151 S.
- ARNOLD R.W. (1994), Keys to soil taxonomy. Blacksburg, Virginia, Pocahontas Press. 524 S.
- BERRY M.E. (1987), Morphological and chemical characteristics of soil catenas on Pinedale and Bull Lake moraine slopes in the Salmon River Mountains, Idaho. In: Quaternary Research, 28, S. 210-225.
- BURR T.N., CURREY D.R. (1988), The Stockton Bar. In: Utah Geol. Mineralogical Survey Miscellaneous Publ., 88-1, S. 66-73.
- COLMAN S.M., PIERCE K.L. (1986), Glacial sequence near McCall, Idaho: Weathering rinds, soil development, morphology, and other relative-age criteria. In: Quaternary Research, 25, S. 25-42.
- HINTZE L.F. (1980), Geologic map of Utah. Salt Lake City, Utah Geol. Mineralogical Survey.
- KLEBER A. (1990), Upper Quaternary sediments and soils in the Great Salt Lake-area, USA. In: Zeitschr. f. Geomorph. N.F., 34, S. 271-281.
- KLEBER A. (1992a), Deckschichten und Böden in den nordwestlichen La Sal Mts., Utah, USA. In: Bonner Geogr. Abh., 85, S. 114-129.
- KLEBER A. (1992b), Late Quaternary slope deposits and soils in and near the northern Great Basin, USA. Unpubl. postdoctoral thesis, Univ. Bayreuth. 205 S.
- KLEBER A. (1993), A stratigraphy of slope deposits and soils in the northeastern Great Basin and its vicinity. In: Zeitschr. f. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 92, S. 173-188.
- KLEBER A. (1994), On the paleoecology of the northern Great Basin and adjacent Rocky Mountains. In: Zeitschr. f. Geomorph. N.F., 38, S. 421-434.
- MAHANEY W.C. (1984), Superposed neoglacial and late Pinedale (Wisconsinan) tills, Titcomb Basin, Wind River Mountains, western Wyoming. In: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 45, S. 149-163.
- MALDE H.E. (1965), Snake River Plain. In: WRIGHT H.E., FREY D.G. (Hrsg.), The Quaternary of the United States, Princeton, New Jersey, S. 255-263.
- PIERCE K.L. (1979), History and dynamics of glaciation in the northern Yellowstone National Park area (= U.S. Geol. Survey Prof. Papers, 729). 90 S.
- PIERCE K.L., OBRADOVICH J.D., FRIEDMAN I. (1976), Obsidian hydration dating and correlation of Bull Lake and Pinedale glaciations near West Yellowstone, Montana. In: Geol. Society American Bulletin, 87, S. 703-710.
- REHEIS M.C. (1990), Influence of climate and eolian dust on the major-element chemistry and clay mineralogy of soils in the northern Bighorn Basin, USA. In: Catena, 17, S. 219-248.
- REIDER R.G. (1983), A soil catena in the Medicine Bow Mountains, Wyoming, USA, with reference to paleoenvironmental influences. In: Arctic and Alpine Research, 15, S. 181-192.
- REIDER R.G., HUCKLEBERRY G.A., FRISON G.C. (1988), Soil evidence for postglacial forest-grassland fluctuation in the Absaroka Mountains of northwestern Wyoming. In: Arctic and Alpine Research, 20, S. 188-198.
- RUFFNER J.A. (1978), Climates of the States, vol. 2. Detroit, Gale Research. 602 S.

## Abbildungen

Seite 236

- Abb. 1: Blockbild des Gebiets von Salt Lake City, Utah, 9fach überhöht.  
Die Lage der Beispielprofile 1-11 ist durch Pfeile angezeigt (einfacher Pfeil: Position ist direkt einsehbar, doppelter Pfeil: Position ist etwas durch davorliegendes Relief verdeckt). Lediglich Profil 12 fehlt; es liegt, knapp außerhalb der Abbildung in Ost-Nevada, am Fuß des Wheeler Peak, Great Basin National Park (114.45 W, 39.02 N).

Seite 237-239

- Abb. 2: Horizontfolge und Analysendaten der Beispielprofile.  
Ein abwärts gerichteter Pfeil zeigt an, daß der unterste Horizont aus darstellungstechnischen Gründen komprimiert gezeichnet ist. Die Methoden sind im Text erläutert. Die Abbildung stellt Tiefe, Horizontbezeichnung, Korngröße (clay=Ton, silt=Schluff), einige bodenchemische Kenngrößen, sowie die Munsell-Farbe dar.

Seite 240-243

- Abb. 3: Beziehung zwischen Sediment- und Bodeneigenschaften und Höhenlage.  
 $r$  = Korrelationskoeffizient. Die andere Berechnung der Grobkomponenten als der Feinbodenfraktionen ist zu beachten (vgl. Text).

Seite 244

- Abb. 4: Höhenbereiche der Bodenhorizonte in den einzelnen Bodenbildungsphasen getrennt nach Untersuchungsräumen.  
Jede Spalte ist unterteilt in Horizonte in der zugehörigen Deckschicht selbst (links) bzw. darunter (rechts). Da zu wenig Beobachtungen von südexponierten Standorten, wo die Horizonte in der Regel größere Höhen erreichen, und gar keine aus Ostexposition vorliegen, sind in die Abbildung ausschließlich SW- bis NNW-exponierte Hänge eingeflossen.  
Provo = Provo-Boden; uProm = oberer Promontory-Boden; lProm = unterer Promontory-Boden; all = Schwemmsediment (vermutlich holozän, die A-Horizonte in diesem Sediment sind nicht pedogen, sondern aus älteren Böden umgelagert; KLEBER 1992a;). Quelle der Daten: KLEBER (1990, 1992a, b, 1993).

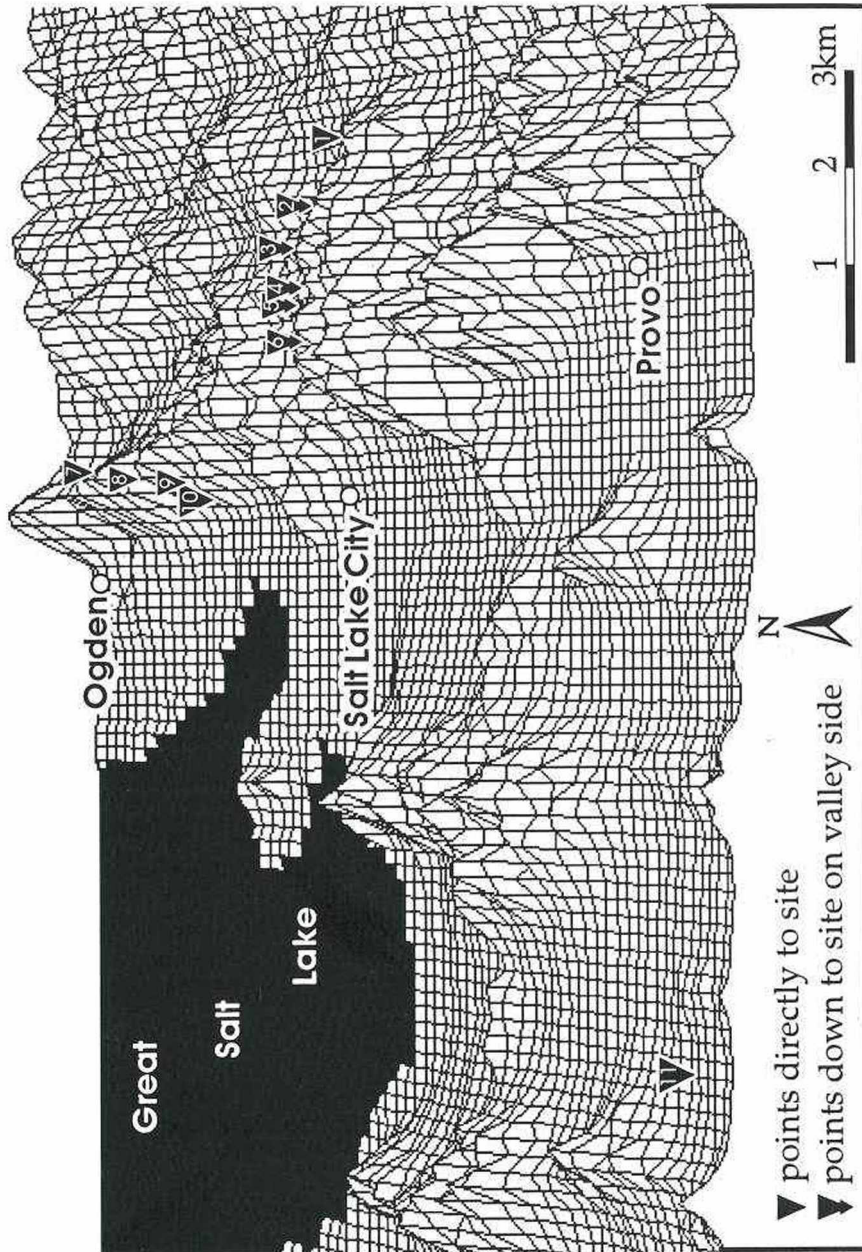


Abb. 1: Blockbild des Gebiets von Salt Lake City, Utah, 9fach überhöht (Erläuterungen vgl. S. 235)



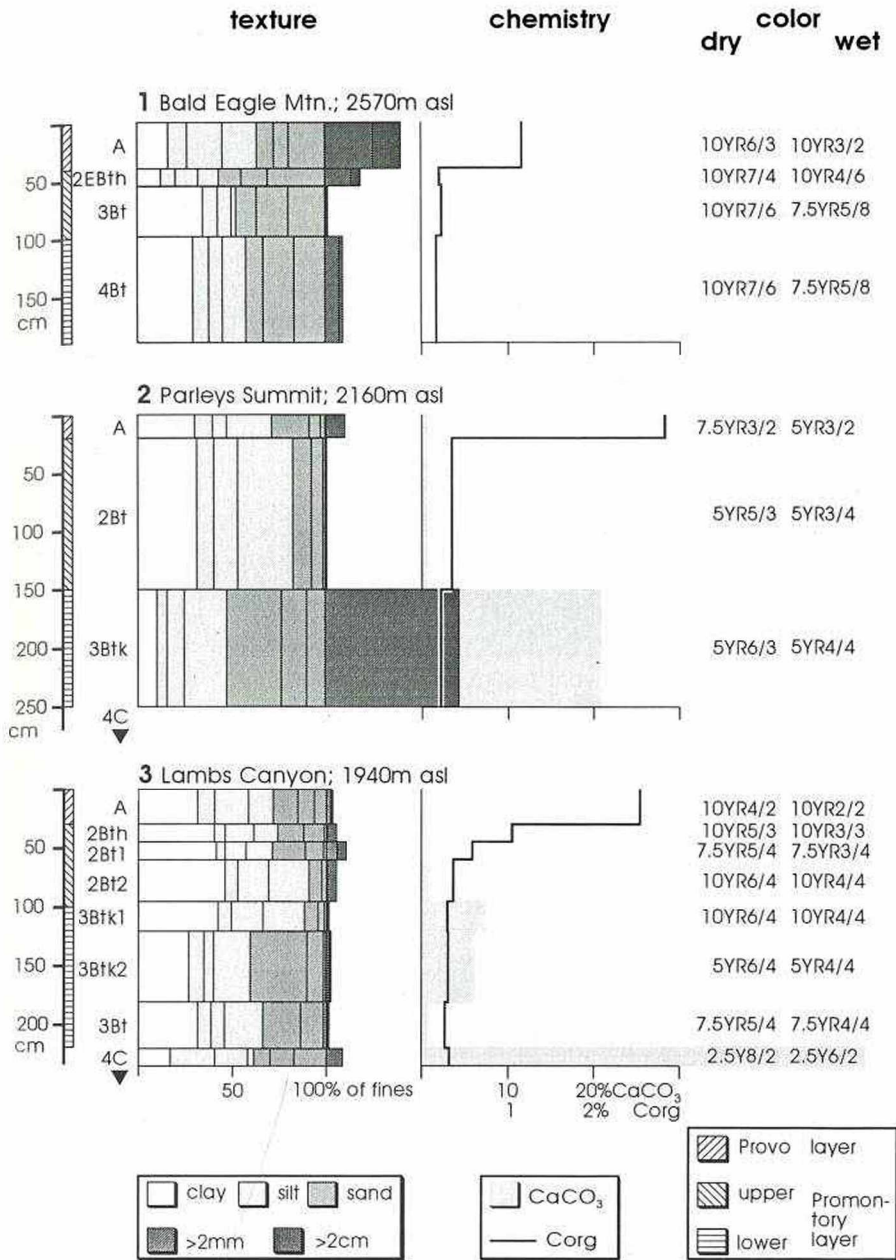


Abb. 2a: Horizontabfolge und Analysendaten der Beispielprofile (Erläuterungen vgl. S. 235)

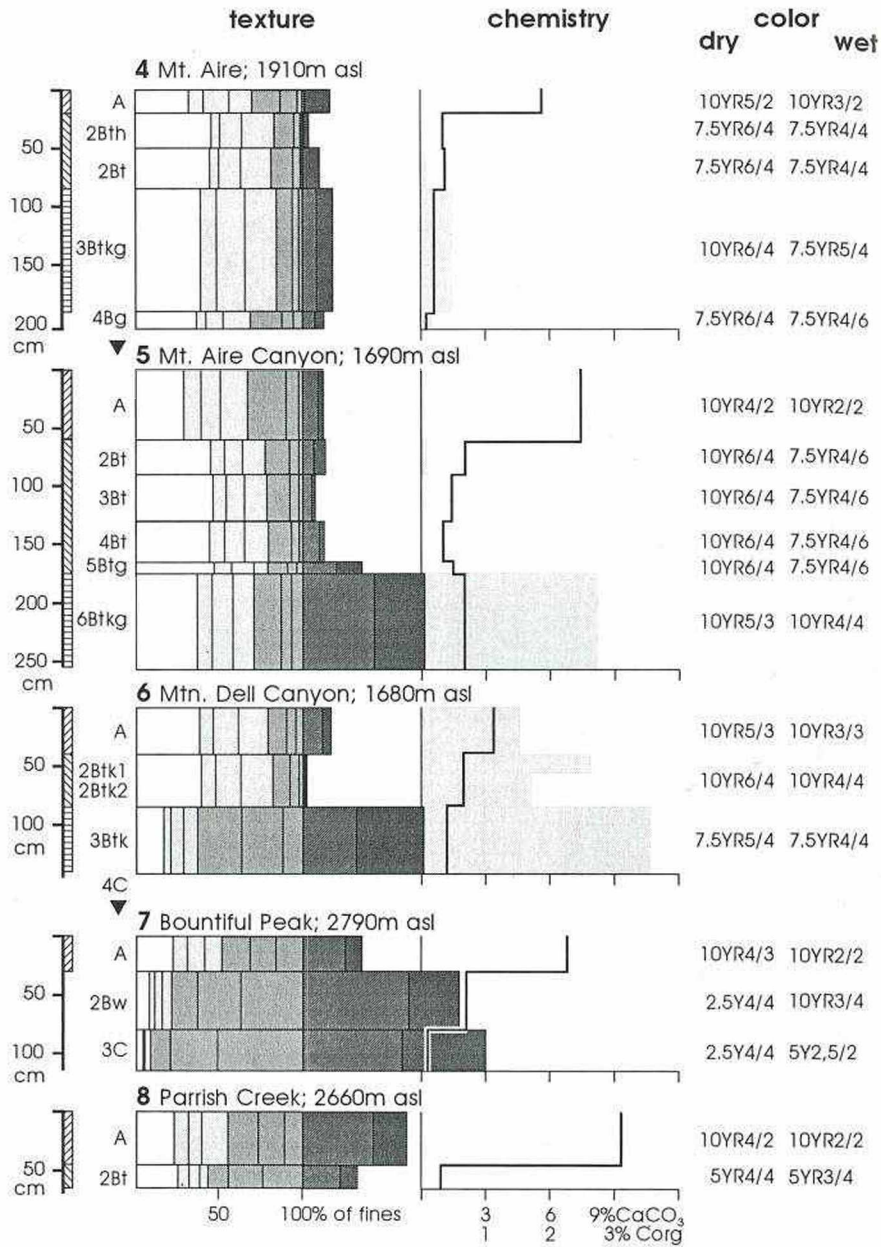


Abb. 2b: Horizontabfolge und Analysendaten der Beispielprofile (Erläuterungen vgl. S. 235)



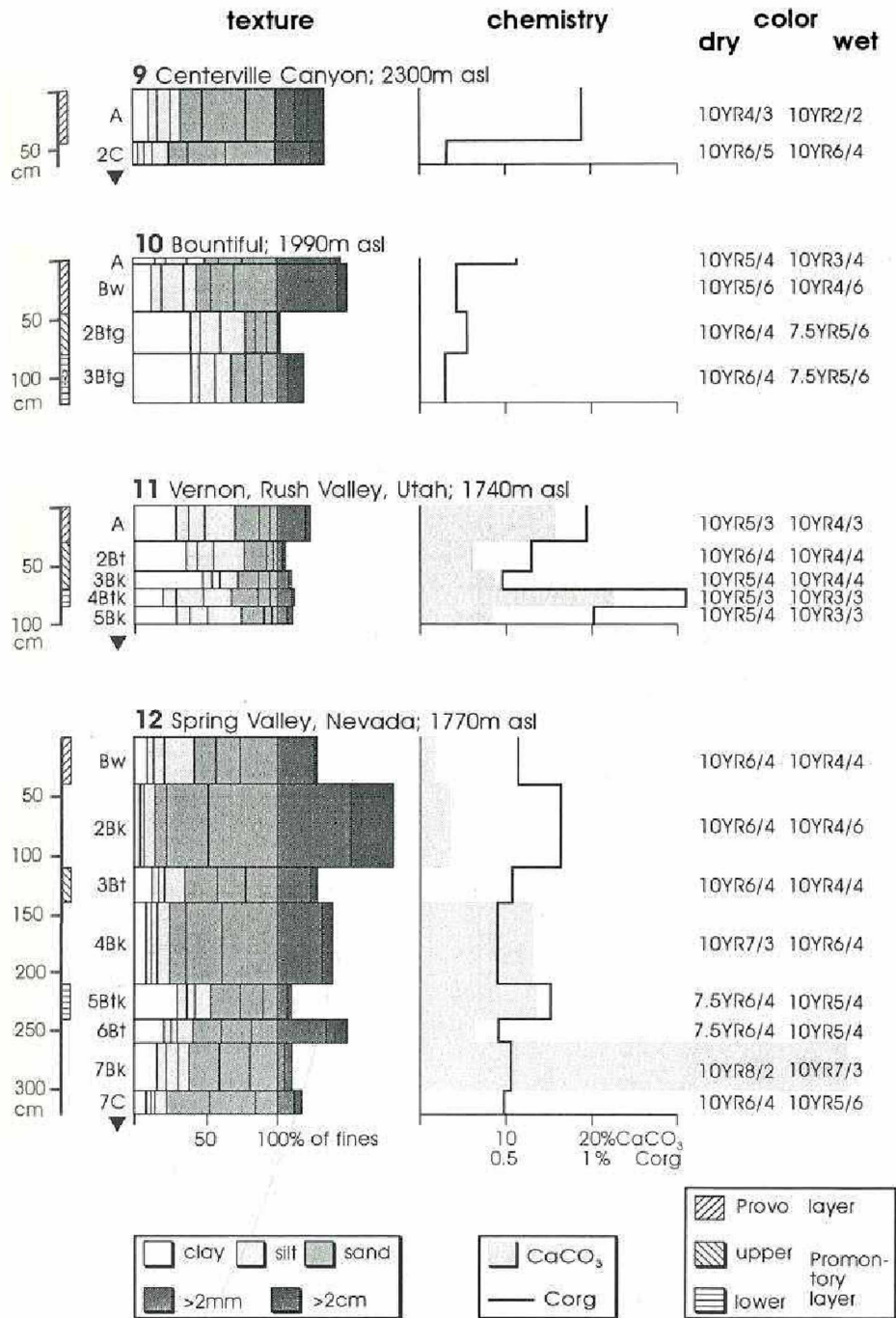


Abb. 2c: Horizontabfolge und Analysendaten der Beispielprofile (Erläuterungen vgl. S. 235)

## Provo layer properties vs. elevation

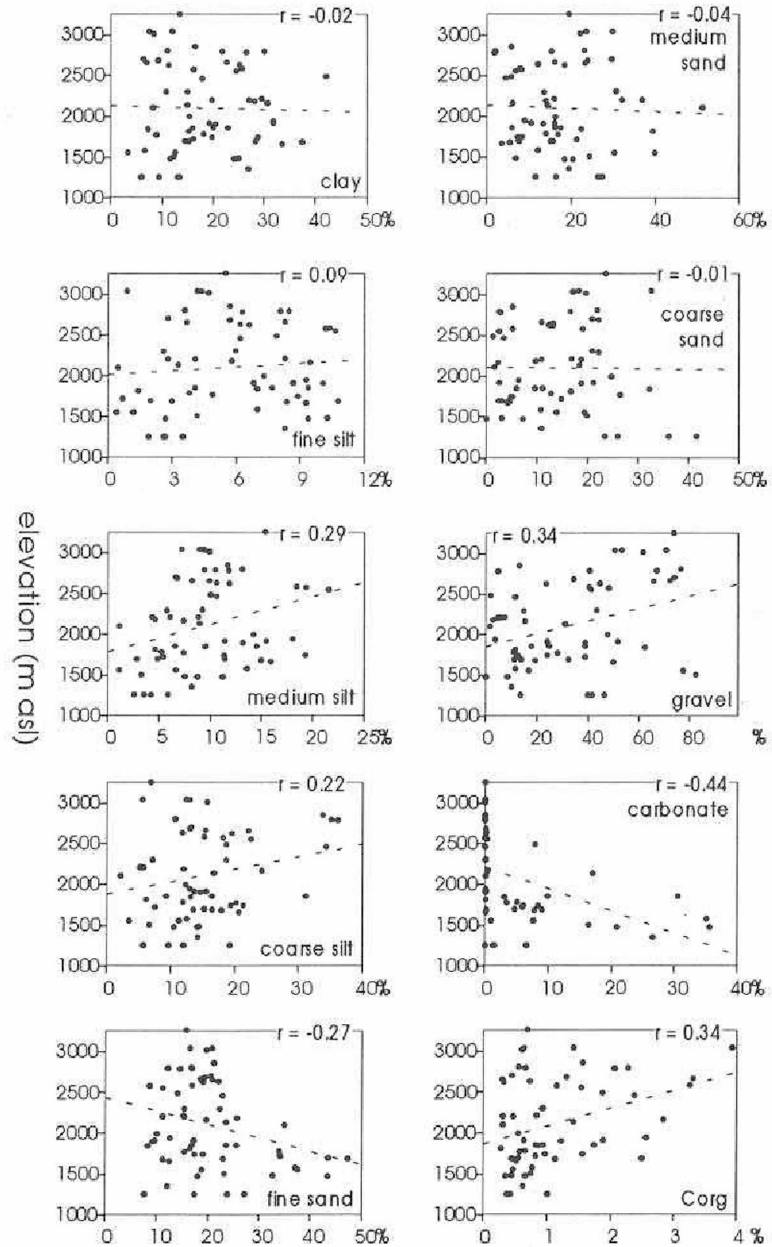


Abb. 3a: Beziehung zwischen Sediment- und Bodeneigenschaften und Höhenlage (Erläuterungen vgl. S. 235)

**Upper Promontory layer properties vs. elevation**

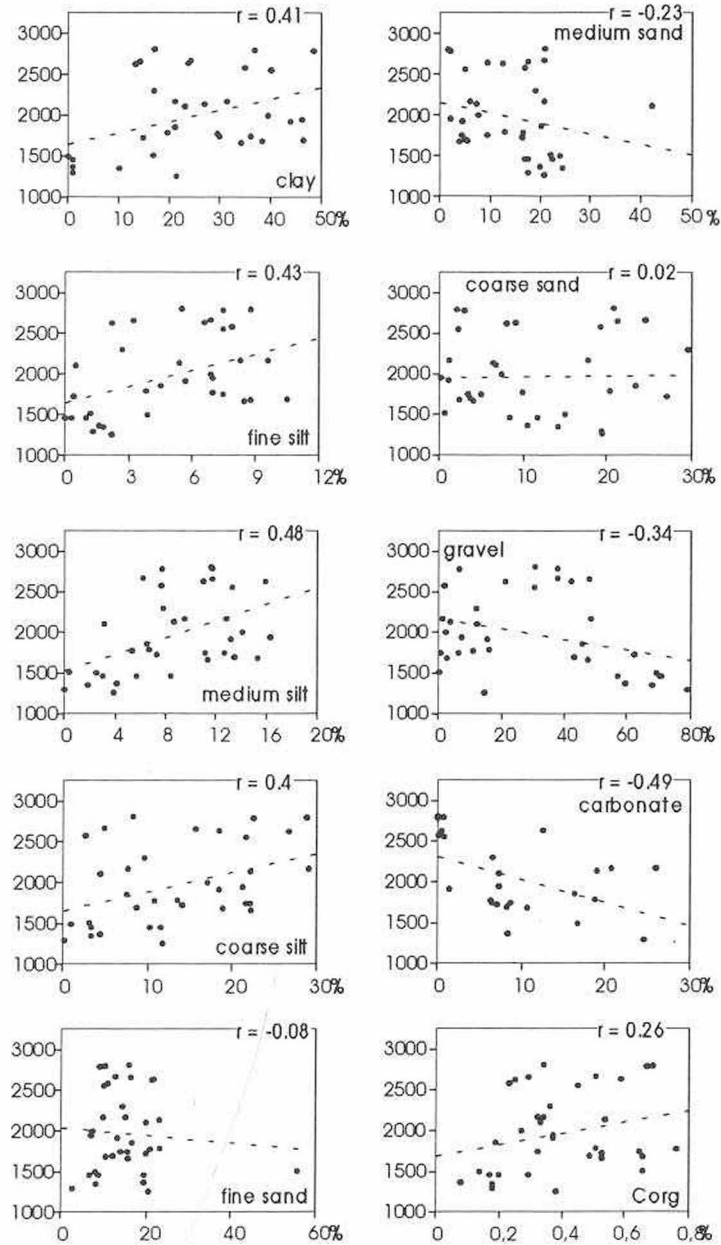


Abb. 3b: Beziehung zwischen Sediment- und Bodeneigenschaften und Höhenlage (Erläuterungen vgl. S. 235)

### Lower Promontory layer properties vs. elevation

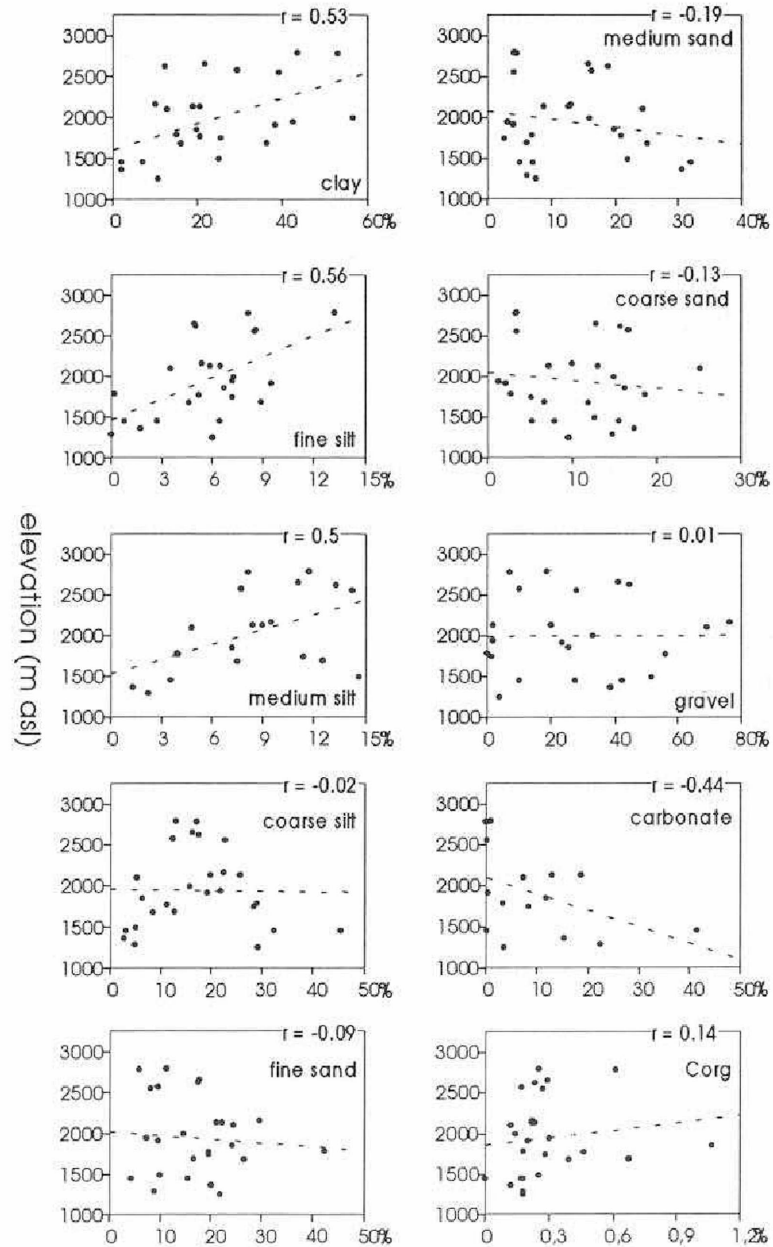


Abb. 3c: Beziehung zwischen Sediment- und Bodeneigenschaften und Höhenlage (Erläuterungen vgl. S. 235)

**Saprolite properties vs. elevation**

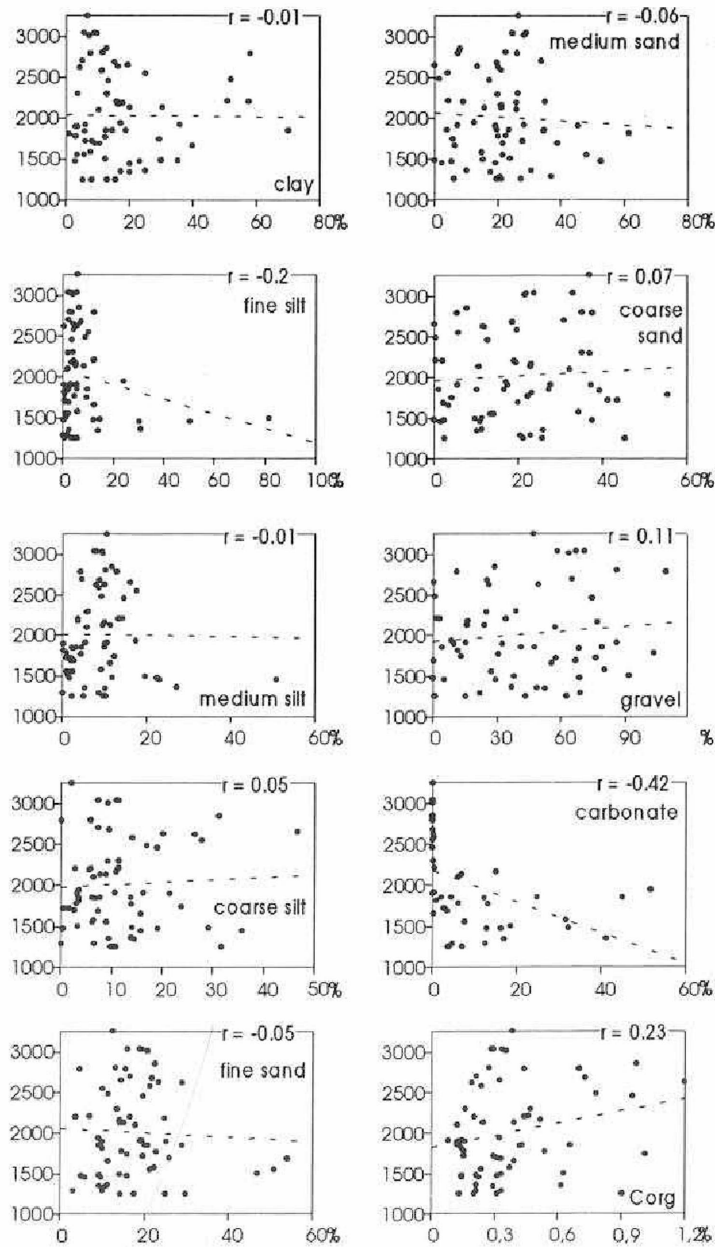


Abb. 3d: Beziehung zwischen Sediment- und Bodeneigenschaften und Höhenlage (Erläuterungen vgl. S. 235)

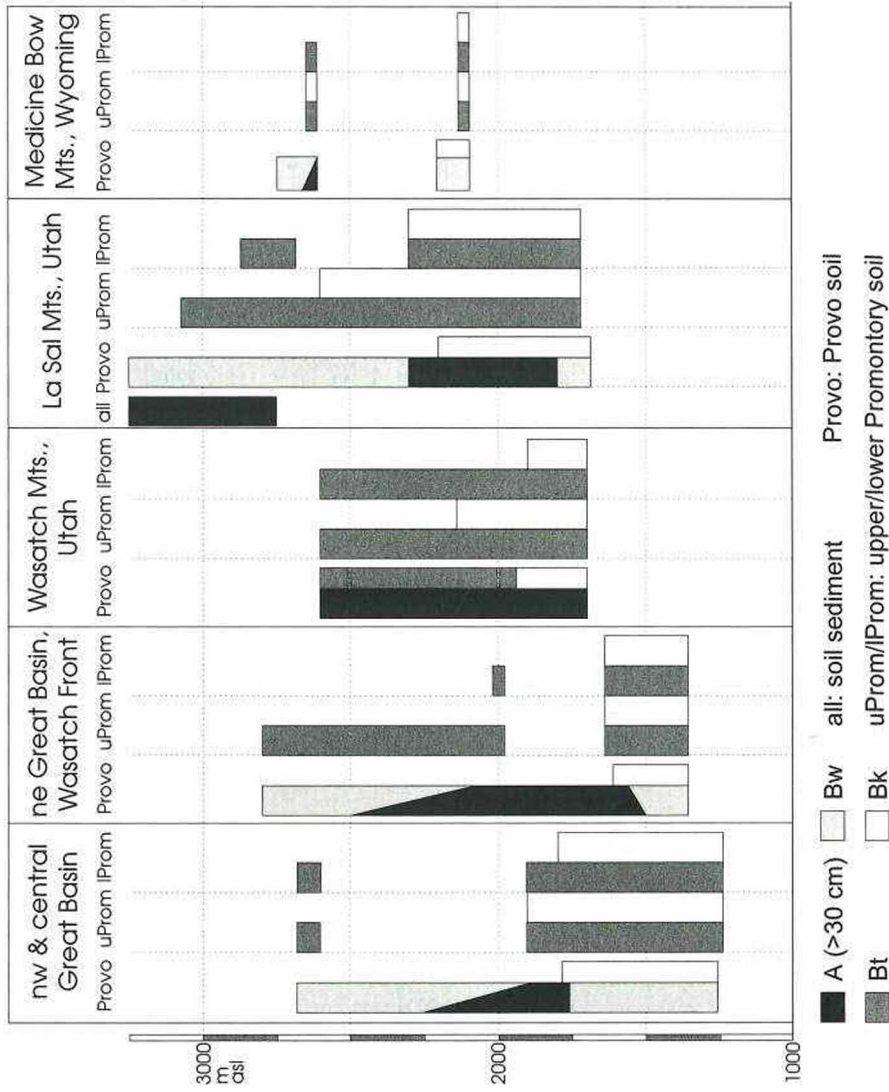


Abb. 4: Höhenbereiche der Bodenhorizonte in den einzelnen Bodenbildungsphasen getrennt nach Untersuchungsräumen (Erläuterungen vgl. S. 235)



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: [137](#)

Autor(en)/Author(s): Kleber Arno

Artikel/Article: [Die Höhenabhängigkeit von Deckschichten und Böden im nordöstlichen Great Basin und in den angrenzenden Rocky Mountains, USA 223-244](#)